

This Page Is Inserted. by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-215414
(43)Date of publication of application : 04.08.2000

(51)Int.Cl. G11B 5/39

(21)Application number : 11-015251
(22)Date of filing : 25.01.1999

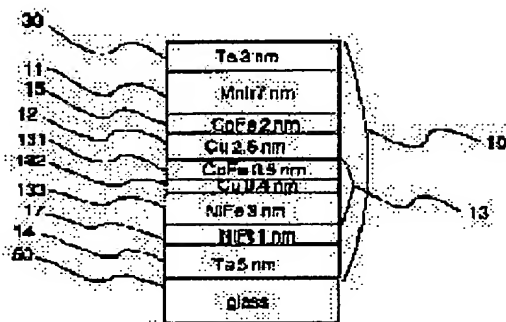
(71)Applicant : HITACHI LTD
(72)Inventor : HOSHIYA HIROYUKI
WATANABE KATSURO
TAJIMA YASUNARI

(54) MAGNETIC SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the thickness of the soft magnetic free layer of a magnetoresistance effect element, to stabilize magnetic characteristics and to enable adaptation to high density recording by laminating an interface layer for controlling magnetostriction on one face of the soft magnetic free layer opposite to the other face kept in contact with a nonmagnetic electrically conductive layer.

SOLUTION: An underlayer 14, an interface controlling film 17, a soft magnetic free layer 13, a nonmagnetic middle layer 12, a ferromagnetic fixed layer 15, an antiferromagnetic film 11 and a protective coat 30 are successively laminated on a substrate 50 to constitute a magnetoresistance effect laminated film 10. The soft magnetic free layer 13 consists of an Ni-base alloy layer 133, an interface controlling layer 132 and a Co-base layer 131. The Ni-base alloy layer 133 preferably comprises a composition having nearly zero magnetostriction in the case of a thick film, e.g. Ni-19 at.% Fe. The interface controlling layer 132 is formed in an extremely small thickness of ≤ 1 nm and the Ni-base alloy layer 133 and the Co-base layer 131 are magnetically integrated. The interface controlling layer 132 preferably comprises a material less liable to produce a crystal structure or a magnetic structure, e.g. Cu so as not to reduce magnetoresistance effect.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-215414
(P2000-215414A)

(43) 公開日 平成12年8月4日 (2000.8.4)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 1 1 B 5/39		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-15251

(22) 出願日 平成11年1月25日 (1999.1.25)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 星屋 裕之

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 渡辺 克朗

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

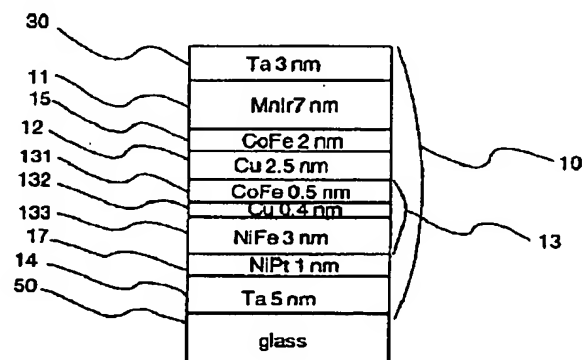
(54) 【発明の名称】 磁気センサー

(57) 【要約】

【課題】 磁気特性が良好で、磁歪をゼロ近傍に制御するための界面制御膜を挿入した積層膜からなるスピンバルブ型磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 スピンバルブ型磁気抵抗効果積層膜の軟磁性自由層の磁歪を正に変化させる界面層の影響を抑制・打ち消し、極薄い軟磁性自由層の磁気特性を良好にすることにより、極薄い軟磁性自由層の磁気特性の改善により、感度が高く、応力の影響のない安定な磁気ヘッドが得られる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】軟磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層の積層構成を有し、上記強磁性固定層が感知すべき磁界に対してその磁化が固定されてなるスピバルブ膜あるいはトンネル接合膜を有して、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じること

を特徴とするスピバルブ型磁気センサーで、上記軟磁性自由層が、Ni基合金層とCo基合金層を積層した構成を有し、

上記Ni基合金層がニッケル70から90原子%残部鉄であるか、あるいはコバルト0.1から20原子%、残部のうち、ニッケル70から90%に対し鉄10から30%であり、

上記Co基層が、純Co、または、コバルト50から99原子%残部鉄であるか、あるいはコバルト40から99原子%、ニッケル1から30原子%、鉄1から30%であって、

上記軟磁性自由層がNi基合金層／界面制御層／Co基層の構成を有し、

上記界面制御層がCu、Au、Ru、Ag、Pt、Pd、Ir、Rh、Re、Osあるいはこれらの合金からなり、その厚さが、前記Ni基合金層と前記Co基層との間に強磁性的結合を有する状態であるように十分薄く、特に1ナノメートル以下であることを特徴とする磁気センサー。

【請求項2】軟磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層の積層構成を有し、上記強磁性固定層が感知すべき磁界に対してその磁化が固定されてなるスピバルブ膜あるいはトンネル接合膜を有して、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じること

を特徴とするスピバルブ型磁気センサーで、基体／下地膜／界面制御層／軟磁性自由層の構成を有し、上記界面制御層が、Ni層、X層、M-X層、Ni-X層あるいはNi-X-Cr層(M=Ta、Nb、Hf、Ti、Mo、X=Cu、Au、Ru、Ag、Pt、Pd、Ir、Rh、Re、Os)からなることを特徴とする磁気センサー。

【請求項3】軟磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層の積層構成を有し、上記強磁性固定層が感知すべき磁界に対してその磁化が固定されてなるスピバルブ膜あるいはトンネル接合膜を有して、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じること

を特徴とするスピバルブ型磁気センサーで、基体側から、軟磁性自由層／界面制御層／保護膜の構成を有し、上記界面制御層が、Ni層、X層、M-X層、Ni-X層あるいはNi-X-Cr層(M=Ta、Nb、Hf、Ti、Mo、X=Cu、Au、Ru、Ag、Pt、

Pd、Ir、Rh、Re、Os)からなることを特徴とする磁気センサー。

【請求項4】軟磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層の積層構成を有し、上記強磁性固定層が感知すべき磁界に対してその磁化が固定されてなるスピバルブ膜あるいはトンネル接合膜を有して、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じること

を特徴とするスピバルブ型磁気センサーで、基体／下地膜／軟磁性自由層の構成を有し、上記下地膜が、M-X層、Ni-X層あるいはNi-X-Cr層(M=Ta、Nb、Hf、Ti、Mo、X=Cu、Au、Ru、Ag、Pt、Pd、Ir、Rh、Re、Os)からなることを特徴とする磁気センサー。

【請求項5】上記Ni-X層が、Ni50から95原子%、残部Cu、Au、Ru、Ag、Pt、Pd、Ir、Rh、Re、Osのいずれかであることを特徴とする前記請求項2又は3記載の磁気センサー。

【請求項6】上記M-X層が、M(M=Ta、Nb、Hf、Ti、Mo)30から95原子%、残部Cu、Au、Ru、Ag、Pt、Pd、Ir、Rh、Re、Osのいずれかであることを特徴とする前記特許請求の範囲第2から4のいずれか1項記載の磁気センサー。

【請求項7】上記Ni-X-Cr層が、Ni50から95原子%、Cr1から30原子%、残部Cu、Au、Ru、Ag、Pt、Pd、Ir、Rh、Re、Osのいずれかであることを特徴とする前記特許請求の範囲第2から4のいずれか1項記載の磁気センサー。

【請求項8】上記界面制御層が実質的に非磁性であるか、0.6テスラ以下の低磁束密度材料であることを特徴とする前記特許請求の範囲第1から4のいずれか1項記載の磁気センサー。

【請求項9】軟磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層の積層構成を有し、上記強磁性固定層が感知すべき磁界に対してその磁化が固定されてなるスピバルブ膜あるいはトンネル接合膜を有して、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じること

を特徴とするスピバルブ型磁気センサーで、上記軟磁性自由層の厚さが5ナノメートル以下であり、上記軟磁性自由層およびその界面にCu、Au、Ru、Ag、Pt、Pd、Ir、Rh、Re、Osあるいはこれらの合金が含有されることを特徴とする磁気センサー。

【請求項10】軟磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層の積層構成を有し、上記強磁性固定層が感知すべき磁界に対してその磁化が固定されてなるスピバルブ膜あるいはトンネル接合膜を有して、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じること

を特徴とするスピバルブ型磁気センサーで、基体

10

20

30

40

50

／下地膜／界面制御層／軟磁性自由層の構成を有し、上記界面制御層が、Ni基層とX層、M-X層、Ni-X層あるいはNi-X-Cr層（M=Ta, Nb, Hf, Ti, Mo, X=Cu, Au, Ru, Ag, Pt, Pd, Ir, Rh, Re, Os）との積層体からなることを特徴とする磁気センサー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気記録再生装置および磁気抵抗効果素子に関し、特に、高記録密度磁気記録再生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】特開平2-61572号公報は、中間層によって分離した強磁性薄膜の、その磁化の磁いになす角度によって電気抵抗が変化する積層膜およびそれを用いた磁場センサー、磁気記録装置の記載があり、鉄-マンガン合金薄膜の記載がある。

【0003】特願平7-189454号公報にはTaなどからなる下地層とNiFeなどからなる磁性層の間に遮断層を設けた磁気抵抗効果素子の記載がある。

【0004】特開平6-325934号公報には最密面が面直に配向したCo, Ni, Fe、特にCoFeからなる強磁性膜を用いたスピバルブ素子の記載がある。

【0005】米国特許第55,408,377号公報にはRuで分離された2枚のNiFe膜からなる自由層を有する磁気抵抗効果素子の記述がある。

【0006】特願平5-223277号公報（参照）には反強磁性膜／第一の磁性膜／非磁性膜／第二の磁性膜の構成で上記第二の磁性膜がCo合金とNi合金の積層からなるスピバルブ膜と磁気記録再生装置の記述がある。

【0007】特開平5-266436号公報には第一の強磁性材料薄膜層／第三の非磁性金属材料薄膜層／第二の強磁性材料薄膜層の三重層で、第一の強磁性材料薄膜層／第三の非磁性金属材料薄膜層の界面あるいは界面から離間した位置で前記第一の強磁性材料薄膜内に第四の材料薄膜層を配置した磁気抵抗センサーの記述がある。

【0008】アプライド フィジックス レター誌第61巻2111～2113項(Applied Physics Letter, vol. 61, (1992) pp2111-2113)には界面に薄いCo層を挿入したNiFe/Cu多層膜の記述がある。

【0009】特開平6-236527号公報には非磁性導電材料からなる背部層を強磁性層に隣接させて設けたスピバルブ型磁気抵抗センサーの記述がある。

【0010】米国特許第55731936号公報にはNiCrおよびNiFeCr膜を積層したNiFe膜を用いた磁気抵抗効果素子の記述がある。

【0011】特開平9-138919号公報にはNiFe合金膜にAu, Pt, Pdを添加して磁歪定数の値を制御した磁気抵抗効果型磁気ヘッドの記載がある。

【0012】特願平9-1140号公報には磁性膜に適切な磁歪を有する膜を積層して磁歪の絶対値を制御した磁気抵抗効果型磁気ヘッドの記載がある。

【0013】特告平5-37358号公報には、正磁歪と負磁歪の磁気抵抗効果膜を交互に積層した磁気抵抗効果素子の記載がある。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】従来の技術では、記録密度の充分に高い磁気記録装置、特にその再生部に外部磁界に対して十分な感度と出力で作用する磁気抵抗効果素子を実現し、さらに出力の安定性が十分に制御された良好な特性を得ることが出来ず、記憶装置としての機能を実現することが困難であった。

【0015】近年、強磁性金属層を非磁性金属層を介して積層した多層膜の磁気抵抗効果、いわゆる巨大磁気抵抗、が大きいたことが知られている。この場合、磁気抵抗効果は、非磁性層で隔てられた強磁性層の、磁化と磁化のなす角度によって電気抵抗が変化する。この巨大磁気抵抗効果を磁気抵抗効果素子として用いる場合には、スピバルブとよばれる構造が提唱されている。

【0016】即ち、強磁性層／非磁性層／軟磁性層の構造を有し、感知すべき磁界の範囲で実質的に磁化の固定した強磁性層に対して、他方の軟磁性層が外部磁界によって磁化回転することで相対的な磁化の角度差に応じて電気抵抗の変化を生じ、出力を得ることができる。

【0017】強磁性層の磁化の固定には、保磁力および磁留磁化の大きな磁性膜や、反強磁性膜／強磁性層界面に発生する交換結合磁界によって反強磁性膜と密着した強磁性層の磁化を実質的に固定する方法が用いられる。

【0018】上記固定の効果を固定バイアス、この効果を生じる反強磁性膜を固定バイアス膜と呼ぶことにする。また上記磁化が実質的に固定された強磁性層を強磁性層固定層と呼ぶことにする。同様に外部磁場によって磁化回転する軟磁性膜を自由層もしくは軟磁性自由層と呼ぶことにする。

【0019】以上述べたように、高記録密度に対応した磁気ヘッドとしては巨大磁気抵抗効果を応用し、スピバルブ型の磁気抵抗効果積層膜を適用する構成が望ましい。ここで、感知すべき磁界の方向を横方向、これに略垂直で磁気抵抗効果積層膜の膜面に平行な方向を縦方向と呼ぶことにする。磁気ヘッドとして用いる場合には、横方向を素子高さ方向、縦方向をトラック幅方向とすることが一般的である。その際、磁気抵抗積層膜のパターンの、素子高さ方向の幅を素子高さ、トラック幅方向の幅をトラック幅と呼ぶ。また、磁気抵抗積層膜に電流を印加するために、トラック幅方向に一对の電極を配置して、磁気抵抗効果による抵抗変化を検出する構成が一般的である。

【0020】スピバルブ素子が磁気センサーとして対称性の良好な特性を有するためには、駆動状態におい

て、ゼロ磁界での磁化状態が、強磁性固定層が横方向に、軟磁性自由層が縦方向に、それぞれ向いている必要がある。強磁性固定層は、その固定されている性質上、比較的、この横方向に向いていると考えて良い。

【0021】しかしながら、軟磁性自由層は、その回転しやすい性質上、縦方向に厳密にむけることが困難である。軟磁性自由層がこの縦方向に厳密に向かない場合、磁気抵抗効果素子の出力は感知すべし磁界の正負に対して非対称な出力を生じてしまうのと同時に、出力が不安定になってしまうのである。この磁気抵抗効果の安定性

10 に関与する要素は単純に言って、軟磁性自由層自身磁気特性、特に、異方性の大きさと方向、保磁力、そして磁歪である。軟磁性自由層の磁歪がゼロでない場合、基体が歪んだ場合に逆磁気弾性効果によって軟磁性自由層に応力誘起の異方性が発生し、磁化の方向を変えてしまうのである。

【0022】磁気記録の記録密度を高くする手段の一つとして、軟磁性自由層の磁化量を低減して素子の外部磁界に対する感度を向上する方法がある。このような場合に特に問題となるのは軟磁性自由層の磁気特性が薄膜化

20 とともに悪化していくことである。すなわち、記録密度を高くするために磁気抵抗効果素子の感度を上げると、軟磁性自由層の特性を良好に保つことが困難になり、その結果、再生素子の安定性が低下するのである。この問題を解決するために、軟磁性自由層の下部や上部に他の磁性層を積層して磁気特性を改善したり、磁歪を抑制したりする手法が提案されている。

【0023】本発明の目的は、高密度記録に対応した磁気抵抗効果型磁気センサーおよび磁気記録装置を提供することであり、より具体的には磁歪制御構造あるいは磁歪制御膜を用いた軟磁性自由層を有するスピバルブ磁気センサーと、それを用いた磁気ヘッドおよび磁気記録再生装置とを提供することにある。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明では高記録密度に対応する手段として、巨大磁気抵抗効果を用いた磁気センサーを磁気ヘッドに搭載した磁気記録装置を用いる。上記磁気センサーとして、軟磁性自由層／非磁性導電層／強磁性固定層／反強磁性膜の積層構造を有するスピバルブ型巨大磁気抵抗効果膜からなる磁気抵抗効果素子を用いる。ここでスピバルブ型巨大磁気抵抗効果膜とは、軟磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層／反強磁性層の積層構成を有し、上記反強磁性層が上記強磁性固定層に交換結合磁界を印加して、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じ

ことを特徴とする。

【0025】本発明の課題は、磁気抵抗効果素子の軟磁性自由層の薄膜化と磁気特性の安定化である。課題を解決するための手段として、本発明では第一に、磁気抵抗

効果素子の軟磁性自由層の界面に、磁歪制御のための界面層を積層する。ここで、積層する面は、軟磁性自由層が非磁性導電層と接する面とは反対側の界面である。磁歪制御膜は同時に軟磁性自由層に他からの有害な元素流入を防止する拡散防止層を兼ねる。磁歪制御膜とは別個に拡散防止層を適用してもよい。あるいは軟磁性自由層が異なる磁性膜の積層体からなる場合には磁性膜同士の界面に拡散・混合防止層を適用することが望ましい。

【0026】すなわち、本発明の主旨は、軟磁性自由層をそれ自体良好な磁気特性と適正な磁歪の値を有するように保持するために、界面を接する他の膜との拡散、あるいは軟磁性自由層自体に内在する界面での拡散を抑制する構成を実現することにある。また、本発明の主旨は、軟磁性自由層に界面から拡散、流入してくる元素を調整し、その結果、磁気特性の変化をキャンセルするような膜を軟磁性自由層の界面に配置することにある。

【0027】このような構成にすることで、実質的に室温で自由磁化を有さない磁歪制御膜を用いても、界面を接して設置した軟磁性自由層に対して影響を及ぼし、磁歪の値を適正化し、保磁力を低減し、あるいは異方性磁界の値と方向を適正に保つ効果をあげることができる。あるいは界面を投して流入する拡散元素の影響を消失せしめ、軟磁性自由層本来の良好な特性を得ることができる。上記のような手段を用いて軟磁性自由層の磁気特性を向上した積層膜を用いた磁気センサーを、磁気ヘッドに搭載することで、良好な出力と安定性を有する磁気ヘッドおよび磁気記録再生装置を得ることができる。

【0028】また、もうひとつの解決手段として、軟磁性自由層を構成するNi基合金層とCo基層の間にも混合・拡散防止のための界面制御層を挿入する。この界面制御層はNiとCoの混合による磁歪の増加を抑制するとともにNi基合金層とCo基層の間の磁気的なつながりと磁気抵抗発生のための電子の透過能を低下させないように材料とその厚さが選択される。

【0029】ここで指摘しておくが、上記界面制御層、磁歪制御層、あるいは混合・拡散防止層なるものは、層と記述しているが、これは積層膜形成時に層として形成する工程を意味しているものである。したがって、これらの層が完全に連続層とはならなかったり、また、他の隣り合う層と拡散、混合を生じてもそれはなんら機能を損なうものではない。むしろ、そのようにして隣接する軟磁性自由層との相互作用をすることも望ましい。

【0030】

【発明の実施の形態】本発明の磁性積層体、磁気記録媒体、および磁気抵抗効果素子を構成する膜は高周波マグネトロンスパッタリング装置により以下のように作製した。アルゴン6ミリトールの雰囲気中にて、厚さ1ミリ、直径3インチのセラミックス基板に以下の材料を順次積層して作製した。スパッタリングターゲットとして

タルタル、ニッケル-20at%鉄合金、銅、鉄チップを配置したコバルト、白金チップを配置したクロム-50at%マンガン各ターゲットを用いた。また、ニッケルターゲット上に、クロム、白金、銅などの添加元素のチップを配置して組成を調整した。

【0031】積層膜は、各ターゲットを配置したカソードに各々高周波電力を印加して装置内にプラズマを発生させておき、各カソードごとに配置されたシャッターを一つずつ開閉して順次各層を形成した。膜形成時には永久磁石を用いて基板に平行におよそ80エルステッドの磁界を印加して、一軸異方性をもたせるとともに、クロム-マンガン膜などの交換結合磁界の方向をそれぞれの方向に誘導した。基体上の素子の形成はフォトリソ工程によってパターンニングした。その後、基体はスライダ加工し、磁気記録装置に搭載した。

【0032】以下に本発明の具体的な実施例を図を追って説明する。

【0033】図1は本発明の磁気センサーの磁気抵抗効果積層膜の積層構成を示す図である。磁気抵抗効果積層膜10は、基体50上に、下地膜14、界面制御膜17、軟磁性自由層13、非磁性中間層12、強磁性固定層15、反強磁性膜11、保護膜30を積層してなる。反強磁性膜11は、交換結合によって強磁性固定層15に一方異方性を印可して強磁性固定層15の残留磁化を感知磁界の範囲で安定に固定する。軟磁性自由層13は、Ni基合金層133、界面制御層132、Co基層131からなる。Ni基合金層133は、厚膜での磁歪がほぼゼロである組成、例えばNi-19原子%Feが望ましい。界面制御層132は1ナノメートル以下と極端に薄く形成し、Ni基合金層133およびCo基層131が磁氣的に一体である構成とする。

【0034】界面制御層132は磁気抵抗効果を減衰させないように、結晶構造や磁気構造を生じにくい材料が選択され、例えばCuは好ましい。またこの界面制御層132の部分は、実質的に連続な層になっていない場合や、隣接するNi基合金層133およびCo基層131と混合、拡散した層になる場合があるが、機能として問題はない。界面制御層132は、Ni基合金層133とCo基層131の直接の界面の混合、拡散領域の形成と、それによる磁歪などの磁気特性の悪化を防止する機能を有する。同様に界面制御層17は下地膜14と軟磁性自由層13の混合、拡散による相互作用を防止して、磁歪などの磁気特性の悪化を防止する機能を有する。

【0035】界面制御層17は、動作温度において実質的に自発磁化を有さないか、あっても影響がない程度に磁化が小さいことが望ましい。その一つの目安はNiの磁化である0.6テスラ以下が望ましい。界面制御層17は隣接する軟磁性自由層13に磁歪を正に大きくするような磁気的な影響を与えないか、逆にそれを低減する効果を有する材料が好ましく、例えばPtなどの貴金属

やNiを多く含むとよい。一方で、界面制御層17は他の層より基板側において他の層の結晶性を決定するシードとなるので、下地膜14上で良好な配向性や結晶粒成長を示すような材料、例えばNi基の金属や面心立方晶あるいは稠密六方晶の貴金属、あるいはこれらの合金が良い。

【0036】図2は本発明の磁気センサーの磁気抵抗効果積層膜の別の積層構成を示す図である。磁気抵抗効果積層膜10は、基体50上に、下地膜14、界面制御膜17、軟磁性自由層13、非磁性中間層12、強磁性固定層15、反強磁性膜11、保護膜30を積層してなる。軟磁性自由層13は、Ni基合金層133、Co基層133からなる。Ni基合金層133は、厚膜での磁歪が若干負である組成、例えばNi-16原子%Feが望ましい。界面制御膜17は、Ni-Crをベースにしたような電気抵抗を増大させた組成とすることで電気抵抗率を例えば60 $\mu\Omega\text{cm}$ である材料として、積層膜の磁気抵抗を増大させる。その他の機能は図1に示した構成の場合とほぼ同様である。

【0037】図3は本発明の磁気センサーの磁気抵抗効果積層膜のまた別の積層構成を示す図である。磁気抵抗効果積層膜10は、基体50上に、界面制御下地膜18、軟磁性自由層13、非磁性中間層12、強磁性固定層15、反強磁性膜11を積層してなる。軟磁性自由層13は、Ni基合金層133、Co基層131からなる。界面制御下地膜18は、下地の機能と界面制御層の機能を併せ持ち、隣接する軟磁性自由層13に磁歪を正に大きくするような磁気的な影響を与えないか、逆にそれを低減する効果を有する材料であって、例えばPtなどの貴金属やNiを多く含むとよい。

【0038】一方で、他の層より基体側において他の層の結晶性を決定するシードとなるので、他の層が良好な配向性や結晶粒成長を示すような材料、例えば融点の高い面心立方晶、稠密六方晶あるいはアモルファスかそれに近い微結晶となるような金属、あるいはこれらの合金が良い。その他の機能は図1、図2に示した構成の場合とほぼ同様である。

【0039】図4は本発明の磁気センサーの磁気抵抗効果積層膜のさらに別の積層構成を示す図である。磁気抵抗効果積層膜10は、基体50上に、反強磁性膜11、強磁性固定層15、非磁性中間層12、軟磁性自由層13、界面制御保護膜19、を積層してなる。軟磁性自由層13は、Co基層131、Ni基合金層133からなる。

【0040】界面制御保護膜18は、保護膜の機能と界面制御膜の機能を併せ持ち、隣接する軟磁性自由層13に磁歪を正に大きくするような磁気的な影響を与えないか、逆にそれを低減する効果を有する材料であって、例えばPtなどの貴金属やNiを多く含むとよい。一方で、Ni-Crをベースにしたような電気抵抗を増大さ

せた組成とすることで電気抵抗率を例えば $60\mu\Omega\text{cm}$ である材料として、積層膜の磁気抵抗を増大させるとともに、酸化などのダメージに対して強度を保つ必要がある。その他の機能は図1、図2、図3に示した構成の場合とはほぼ同様である。

【0041】図5は従来技術のNiFe薄膜のB-Hループの厚さ依存性を示した図である。構成は基板/Ta 5nm /Ni-14wt%Fe(t)/Cu 2.5 /Ta 3 であって、スピンバルブ膜の軟磁性自由層13のうち、Ni基合金層133を模擬した試料である。NiFe 10nm では困難軸ループは線形性が高く、異方性磁界 H_k は明確に現れ、困難軸保磁力 H_{ch} も小さいが、NiFeが薄くなると異方性ははっきりしなくなり、困難軸保磁力も増加する。NiFe 3nm 以下では容易軸と困難軸のループの差異はかなり小さくなっており、従来技術では軟磁性膜が薄くなると磁気特性が悪化することを示している。

【0042】図6は同様に従来技術のNi-14wt%Fe膜の磁歪の厚さ依存性である。本来、磁歪は膜厚に対して一定な物理量である。しかしながら実際には従来技術の薄膜は、特に薄い膜で磁歪は正側に大きくずれ、また、熱処理によってもさらに正にずれる。これは以下のように考えることができる。

【0043】異なる2種類の膜の積層体を考えると、積層体のトータルの磁歪は以下の式で表される。

【0044】磁歪及び磁歪による磁気エネルギーは

【0045】

$$\text{【数1】 } \Delta H_k \cdot M \cdot t = \Delta H_{k1} \cdot M_1 \cdot t_1 + \Delta H_{k2} \cdot M_2 \cdot t_2$$

$$\lambda_i = H_{ki} \cdot M_i / 3\sigma_i$$

であるから、

【0046】

$$\text{【数2】 } \Delta H_{ki} \cdot M_i = \lambda_i \cdot 3\sigma_i$$

$\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$, $E = E_1 + E_2$ (すべての膜が同じ歪み、同じヤング率) とすると

【0047】

$$\text{【数3】 } \sigma = \sigma_1 = \sigma_2$$

$$\lambda \cdot t = \lambda_1 \cdot t_1 + \lambda_2 \cdot t_2$$

ここで $t \sim t_1 \gg t_2$ 、すなわち、膜2が界面や反応層の寄与であって、全膜厚に対して薄いとすると、

【0048】

$$\text{【数4】 } \lambda = \lambda_1 \cdot t_1 / t + \lambda_2 \cdot t_2 / t \sim \lambda_1 + (\lambda_2 \cdot t_2) / t$$

となる。すなわち、積層体の磁歪は積層体の厚さの逆数に比例し、そのy切片は主要な膜の厚膜での磁歪に対応する。

【0049】(ただし、上式で、 λ : 磁歪、 t : 膜厚、 σ : 応力、 ε : 歪み、 E : ヤング率、 H_k : 異方性磁界、を示し、添字1、2および添字なしはそれぞれ膜1、膜2、および積層膜の値を意味する)

したがって、軟磁性自由層の界面に磁歪の大きな拡散・混合層が形成されてしまうと、薄膜の磁歪はその膜厚に反比例して、厚膜の値からずれていくのである。

【0050】図7は従来技術のNiFe膜およびNiFe/CoFe膜の磁歪を磁性膜の合計厚さの逆数でプロットした図である。NiFe自由層に比べてNiFe/CoFe自由層ではさらに磁歪が正側にずれており、また膜厚に対する傾きも増加している。すなわち、NiFe/CoFe界面やCoFe/Cu界面のような積層によって生じる界面の効果が磁歪に寄与していることがわかる。

【0051】以上のように、NiFe/CoFe自由層の磁歪には、NiFeの界面の寄与に加え、NiFe/CoFe界面の寄与が加わり、この結果、膜厚に対する磁歪の変化が大きい。

【0052】したがって、図7の直線からわかるように、従来技術では、Ni-18wt%Feの組成をNiリッチにして磁歪をゼロ近傍に保とうとしても、磁性膜の厚さが $1/0.4 \sim 1/0.3$ (2~3nm) 付近ではどちらのNiFe組成の場合も磁歪はほぼ同じ値の正の値になってしまうことになる。すなわち、自由層膜厚が3nm以下ではNi-Fe組成の調整では磁歪をゼロ近傍に保つことができなくなると予測される。さらに、Niリッチ組成のNi-Fe膜では、磁気特性が次第に悪化する傾向があると共に、スピンバルブ膜の抵抗変化率が低下する傾向がある。

【0053】そこで、本発明では、磁歪のずれの原因である界面、特に上記の実例で示すと、Ta/NiFe界面およびNiFe/CoFe界面の双方の部分に対して界面制御のための挿入層を開発したものである。以下にその実施例を実験図に沿って示す。

【0054】図8はCu挿入層をいれた場合の磁歪の値を示した図である。Cu層の挿入と共に磁歪の値は減少し、0.2nm以上ではほぼ一定となっている。熱処理後では幾分磁歪が増加するが、熱処理なしで 4×10^{-7} の減少効果がある。この値は図5におけるNiFe/CoFe自由層とNiFe自由層の差(磁性層膜厚6nmでの)にほぼ等しい。したがってNiFe自由層とNiFe/CoFe自由層の磁歪の差は、CoFe/Cu界面の影響は小さく、ほとんどNiFe/CoFe界面によるものであると推測される。

【0055】図9はNiFe 5nm /CoFe 1nm 自由層にCu挿入層をいれたスピンバルブ膜の抵抗変化率を示した図である。Cu挿入層が厚いと抵抗変化率が若干低下するが、図8と比較すると0.2~0.5nm程度であればほぼ抵抗変化率の低下なしに磁歪の抑制効果が得られることがわかる。図10は同様に層間結合磁界について示した図で、Cu挿入層をいれても層間結合磁界はむしろやや減少する程度で特性上の問題はないと考えられる。また、図には示しているが、磁気抵抗曲線の

測定により1ナノメートル以下のCu挿入層による自由層の磁気的な分離や保磁力の増加といった悪影響は認められなかった。

【0056】次にTa/NiFeのような軟磁性自由層*

* /下地膜(保護膜)の界面について述べる。表1に下地の構成を変えてスピンバルブ膜を作製した結果を示す。

【0057】

【表1】

表 1

下地の構成とその効果

下地の構成	磁歪の低減	磁気特性	抵抗変化率
glass/SV			熱処理後に低下
glass/Ru1~2/SV	良好	良好	熱処理後に低下
glass/Ta5/Ru1~2/SV	小		
glass/Ta5/Cu1/SV		Hint増加	
glass/Ta5/NiFe0.5~2/Cu0.5~2/SV	良好	良好	やや低下
glass/Ta5/NiFe0.5~2/Ru0.5~2/SV	良	良好	やや低下

(表中SVの部分はNiFe5/CoFe1/Cu2.3/Co3/CrMnPt30/Ta3)

【0058】glass/SV およびglass/Ru/SV の構成では、熱処理後の抵抗変化率が低下した。これはTa下地膜をなくしたことでスピンバルブ膜の配向が低下し、耐熱性が低下したことが原因と考えられる。glass/Ta/Ru/SV およびglass/Ta/Cu/SV の構成では、磁歪の低減の効果が低く、また下地がCuの場合には層間結合磁界Hintが50e程度増加した。

【0059】もっとも良好な結果を示したのは1nm程度のNiFe下地層とCu、Ruの挿入層(以下バリア層と呼称する)を用いた場合であったので、以下この結果について述べる。

【0060】図10はCu1nmバリア層を用いたNiFe下地層の厚さと自由層の磁化量の関係を示した図である。下地層のない基準の膜と比べて、NiFe下地膜が1.1nm以下の試料では磁化量の増加がほとんど見られない。したがって、NiFe下地層は厚さ1.1nm以下ではTa膜と混合して磁化を消失しており、さらに、Cuバリア層もその上層のNiFe層界面で混合して1nm・T分程度磁化を減少させていると思われる。

【0061】すなわち、Cu層はNiFe層と混合していると推測され、「バリア層」と呼称してはいるが、実際にはNiFe層の拡散を抑制できているわけではないと言える。むしろ重要なのはNiFe層と混合するのが正磁歪化の大きいTaではなくCuになることであり、「バリア層」の選択はNiFe膜への混合時の磁気特性および磁歪への効果で決まるべきである。

【0062】図11はNi-14wt%Fe下地層の厚さを1.1nm一定とした時の、Cuバリア層の厚さと磁歪の関係である。Cu層が厚くなると磁歪は低下しており、磁歪の抑制効果があることが分かる。しかしながら熱処理後はすべての試料で磁歪が増大しており、より

抑制効果の大きい材料の選択が望ましい。

20 【0063】図12はRuバリア層を用いた自由層の磁歪を示した図である。Ru0.6nm以上の試料では磁歪の値はバリア層なしの試料に比べてかなり負の値をとっており、その値はNiFe膜本来の値に近い。この結果は、Ruが高融点金属であり、薄い層でも連続膜になり易く、磁歪の抑制効果が大きいことと、さらにNiFeへの貴金属の添加がNiFe膜の負磁歪化の効果があることによると考えられる。

【0064】図13はCuおよびRuバリア層を適用したスピンバルブ膜の抵抗変化率を示した図である。Cuバリア層、Ruバリア層共に、抵抗変化率はやや低下する傾向が見られるが、その量は0.5%程度であって、あまり問題とならない。

【0065】以上のように、下地膜上に1ナノメートル程度のNiFe膜/Ru(Cu)/軟磁性自由層/非磁性中間層/強磁性固定層/反強磁性膜とした構成のスピンバルブ膜とすることで、磁歪の正へのずれを防止し、極薄い軟磁性自由層の磁気特性を良好に保ち、かつ高い再生感度を有した磁気抵抗効果積層膜が実現できることである。

40 【0066】ここで1ナノメートル程度のNiFe膜/Ru(Cu)層という構成について考えてみると、すなわちこれは、下地膜上で配向を取れるNiFe膜と軟磁性自由層に接して磁歪の増加を防止する界面制御層の機能を有していることが分かる。さらに、上記2層の構成で達成した結果を、一層の膜によって同様の効果を生み出すことができるのである。

50 【0067】図14は基体/Ta5nm/Ni-30at%Pt1nm/Ni-18wt%Fe10.5.3nm/Cu2.3/Ta3膜のB-Hループを示した図である。図5の同じ厚さのループと比較して、Ni-Pt

界面制御層を適用したNiFe膜の磁化曲線は明らかに特性が改善されていることが分かる。具体的には異方性磁界が増加し、困難軸保磁力が増加しないでNiFe膜厚に対してはほぼ一定の良好な特性を示している。

【0068】図15はさまざまなNi合金を界面制御層を用いたNiFe10nm膜の特性を示した図である。界面制御層の組成はそれぞれ、Ni-30原子%Cr、Ni-30原子%Cu、純Ni、およびNi-30原子%Ptである。(NiFe)と表記した点は本発明の界面制御層を用いない標準の値であるが、これに対して界面制御層を用いた膜の磁歪はすべて低減していることが分かる。特にNi-Ptの界面制御層では磁歪はほぼゼロとなり、また異方性磁界H_kもおおよそ4エルステッドであって良好な磁気特性が得られた。

【0069】図16はNi-Pt組成を変えた界面制御層の場合のNi-Fe膜の厚さ(厚さの逆数で示してある)と磁歪の関係を示した図である。NiFeと示した、界面制御層を用いない従来技術の値は厚さに対して大きな傾きを持っているのに対し、Ni-Pt界面制御層を用いたものはその傾きを変えることができ、特にNi-15原子%PtではNiFe層の厚さに対して一定の値を得ることができた。

【0070】図17はNi-Fe層3nm一定とした場合の界面制御層の厚さと磁歪の関係を示した図である。界面制御層の組成を変えると磁歪の値を調節できる一方で、界面制御層の厚さを変えても磁歪の値を変えることができる。逆にNi-Pt-Crのような電気抵抗率の高い界面制御膜を用いることによって、界面制御膜の厚さを2~3ナノメートルと厚くしても、電流の損失がないようにすることができるから、界面制御層の厚さに対する磁歪の変化がないNi-30at%Pt-15%Cu界面制御層のように、膜厚に対する安定性を増すこともできる。

【0071】図18はNi-Pt-Cr膜の電気抵抗率とCr濃度の関係を示した図である。Crを添加すると電気抵抗率を20~100μΩcm程度まで上げることができ、抵抗変化率の向上が図れる。

【0072】図19は本発明の磁気抵抗効果素子による磁気センサーを搭載した磁気ヘッドの概念図である。基体50上に磁気抵抗効果積層膜10、電極40、下部シールド35、上部シールド兼下部コア36、再生ギャップ37、コイル42、上部コア83を形成してなり、対向面63を形成してなる。

【0073】図20は本発明の磁気ヘッドを用いた磁気記録再生装置の概念図である。ヘッドスライダー90を兼ねる基体50上に磁気抵抗効果積層膜10、磁区制御膜41、電極40を形成し、これらからなる磁気ヘッドを記録媒体91を有するディスク95上に記録トラック44上に位置決めして再生を行う。ヘッドスライダー90はディスク95の上を、対向面63を対向して0.1

ミクロン以下の高さに浮上、もしくは接触して相対運動する。この機構により、磁気抵抗効果積層膜10はディスク95上の記録媒体91に記録された磁気的信号を、記録媒体91の漏れ磁界94から読み取ることができるのである。

【0074】図21は本発明の磁気記録再生装置の構成例である。磁気的に情報を記録する記録媒体91を保持するディスク95をスピンドルモーター93にて回転させ、アクチュエーター92によってヘッドスライダー90をディスク95のトラック上に誘導する。即ち磁気ディスク装置においてはヘッドスライダー90上に形成した再生ヘッド、及び記録ヘッドがこの機構に依ってディスク95上の所定の記録位置に近接して相対運動し、信号を順次書き込み、及び読み取るのである。

【0075】アクチュエーター92はロータリーアクチュエーターであるのがよい。記録信号は信号処理系94を通じて記録ヘッドにて媒体上に記録し、再生ヘッドの出力を信号処理系94を経て信号として得る。さらに再生ヘッドを所望の記録トラック上へ移動せしめるに際して、本再生ヘッドからの高感度な出力を用いてトラック上の位置を検出し、アクチュエーターを制御して、ヘッドスライダーの位置決めを行うことができる。

【0076】本図ではヘッドスライダー90、ディスク95を各1個示したが、これらは複数であっても構わない。またディスク95は両面に記録媒体を有して情報を記録してもよい。情報の記録がディスク両面の場合ヘッドスライダー90はディスクの両面に配置する。

【0077】上述したような構成について、本発明の磁気ヘッドおよびこれを搭載した磁気記録再生装置を試験した結果、充分な出力と、良好なバイアス特性を示し、また動作の信頼性も良好であった。

【0078】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば良好な磁気特性と、特に応力の影響に対して安定な磁気センサーを提供でき、ひいては高い記録密度において良好な再生出力と安定性を有する磁気ヘッドおよび高密度磁気記録再生装置を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気抵抗効果積層膜の第一の構成例を示した図である。

【図2】本発明の磁気抵抗効果積層膜の第二の構成例を示した図である。

【図3】本発明の磁気抵抗効果積層膜の第三の構成例を示した図である。

【図4】本発明の磁気抵抗効果積層膜の第四の構成例を示した図である。

【図5】従来技術のNiFeを用いた軟磁性自由層の磁化曲線を示した図である。

【図6】従来技術のNiFeを用いた軟磁性自由層の磁歪と厚さの関係を示した図である。

【図7】従来技術のNiFeおよびNiFe/CoFe積層膜を用いた軟磁性自由層の磁歪と厚さの関係を示した図である。

【図8】NiFe/CoFe軟磁性自由層の界面に本発明の界面制御層を用いた場合の磁歪と界面制御層の厚さの関係を示した図である。

【図9】Cu界面制御層の厚さと抵抗変化率の関係を示した図である。

【図10】NiFe下地層の厚さと磁化量の関係を示した図である。

【図11】本発明のCuバリア層の厚さと軟磁性自由層の磁歪の関係を示した図である。

【図12】本発明のRuバリア層の厚さと軟磁性自由層の磁歪の関係を示した図である。

【図13】本発明のCuおよびRuバリア層の厚さと抵抗変化率の関係を示した図である。

【図14】本発明のNi-Pt界面制御層を用いた軟磁性自由層の磁化曲線を示した図である。

【図15】本発明の界面制御層を用いた軟磁性自由層の磁気特性を示した図である。

【図16】本発明のNi-Pt界面制御層の組成を変えた場合の軟磁性自由層の厚さと磁歪の関係を示した図である。

*

*【図17】本発明の界面制御層の厚さを変えた場合の軟磁性自由層の磁歪を示した図である。

【図18】本発明の界面制御層のCr組成を変えた場合の界面制御層の電気抵抗率を示した図である。

【図19】本発明の磁気抵抗効果積層膜を用いた記録再生分離ヘッドの概念斜視図である。

【図20】本発明の磁気センサーを用いた磁気記録再生装置の概念斜視図である。

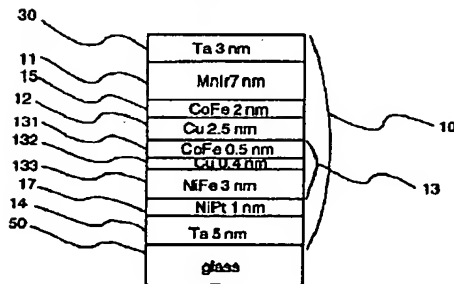
【図21】本発明の磁気センサーを用いた磁気記録再生装置の構成例を示す図である。

【符号の説明】

10…磁気抵抗効果積層膜、11…反強磁性膜、12…非磁性中間層、13…軟磁性自由層、14…下地膜、15…強磁性固定層、17、132…界面制御層、18…界面制御下地層、19…界面制御保護層、30…保護膜、35…下部シールド、36…上部シールド兼下部コア、40…電気端子、41…磁区制御膜、42…コイル、50…基体、63…対向面、64…記録媒体からの漏れ磁界、83…上部コア、90…スライダ、91…記録媒体、92…アクチュエーター、93…スピンドルモーター、94…信号処理回路系、131…Co基層、133…Ni基合金層。

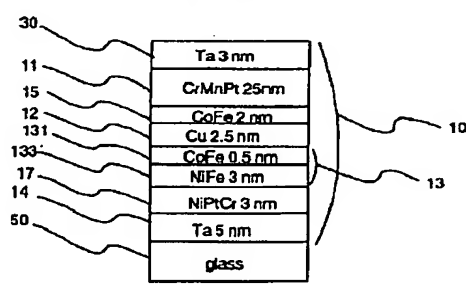
【図1】

図 1



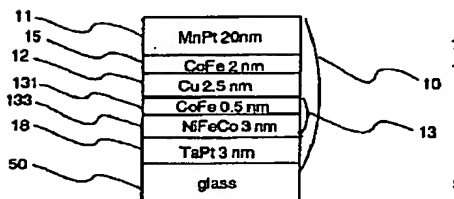
【図2】

図 2



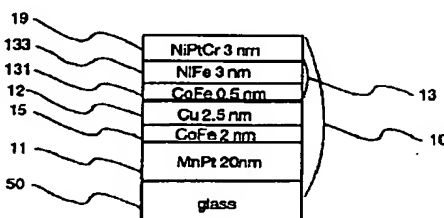
【図3】

図 3



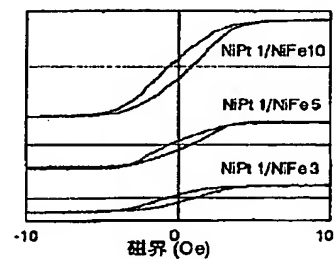
【図4】

図 4



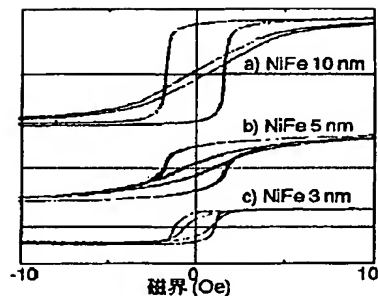
【図14】

図 14



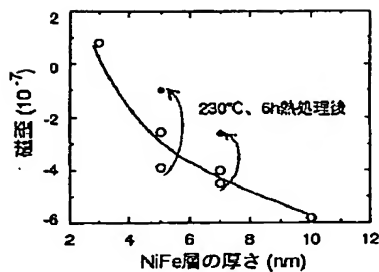
【図5】

図 5



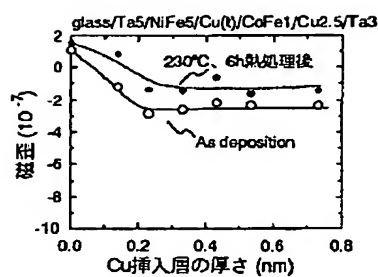
【図6】

図 6



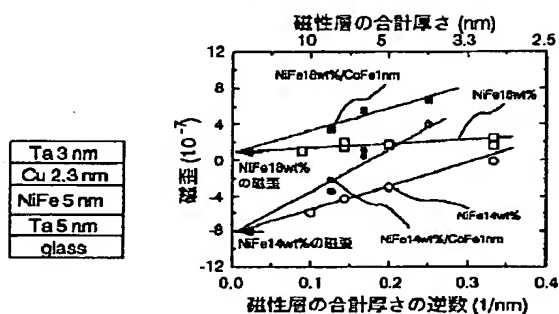
【図8】

図 8



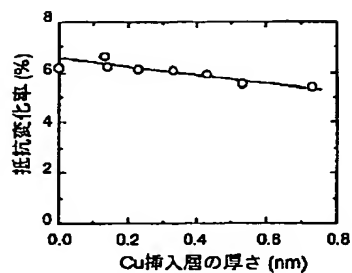
【図7】

図 7



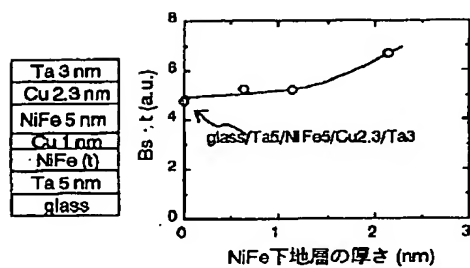
【図9】

図 9



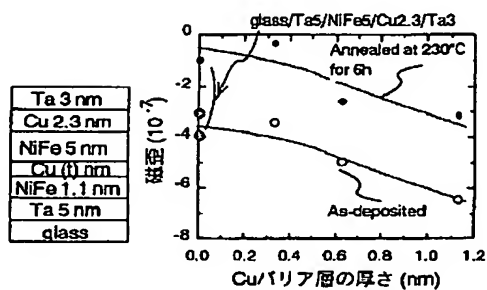
【図10】

図 10

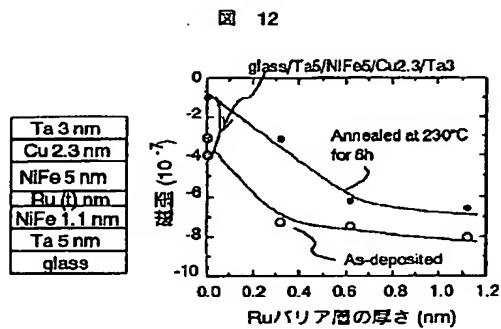


【図11】

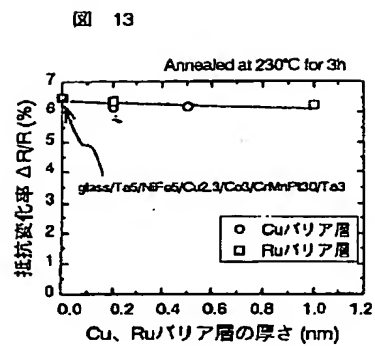
図 11



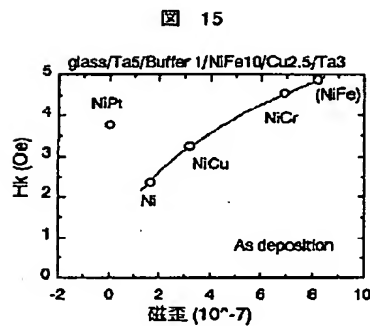
【図12】



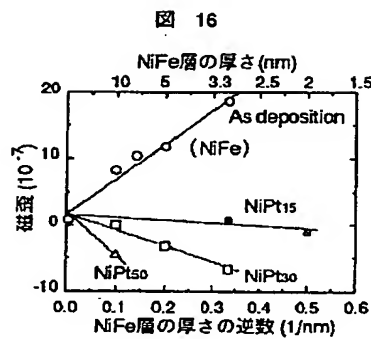
【図13】



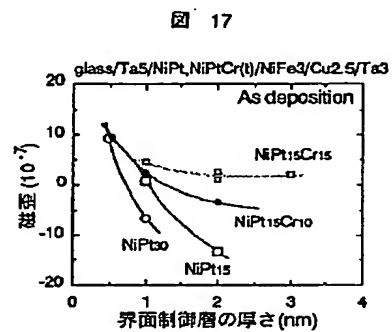
【図15】



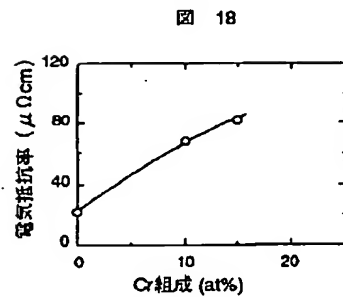
【図16】



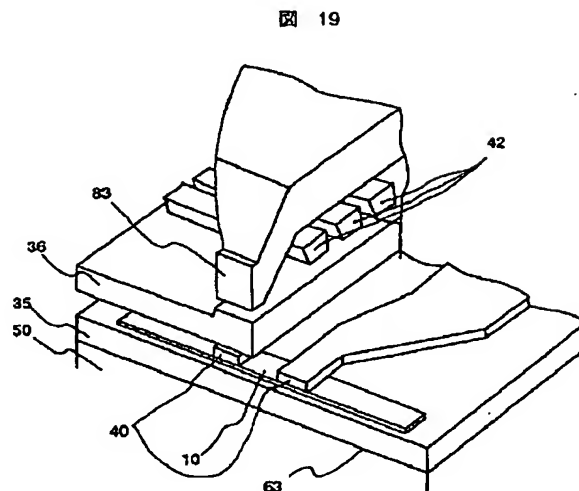
【図17】



【図18】

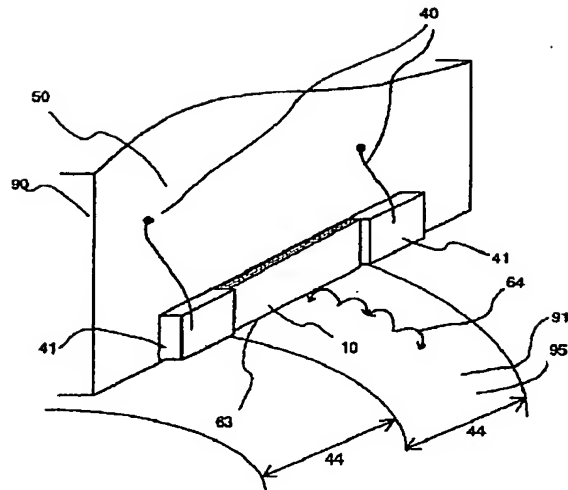


【図19】

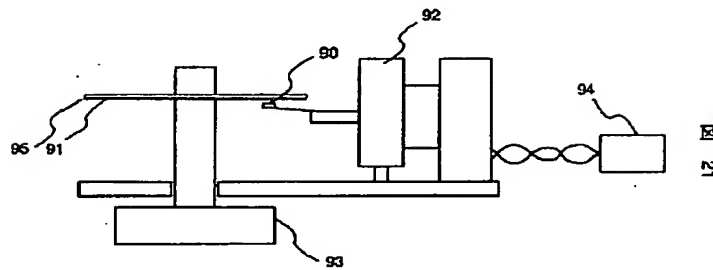


【図20】

図 20



【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 田島 康成
 神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会
 社日立製作所ストレージシステム事業部内

Fターム(参考) 5D034 AA02 BA03 BA16 BB01 CA04
 DA07